



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA

**VALORACIÓN DE RESPUESTA INFLAMATORIA
SUBCLÍNICA EN CABALLOS MEDIANTE MONITOREO
DE LA PROTEÍNA AMILOIDE A SÉRICA POST -
EJERCICIO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MÉDICO VETERINARIO**

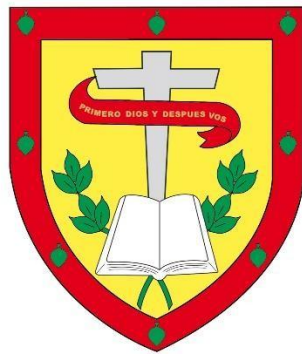
AUTOR: VICTOR ELIECER TOAPANTA TANGUILA

DIRECTOR: DR. EDWIN ERNESTO LANDI TORRES

CUENCA-ECUADOR

2026

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA

**VALORACIÓN DE RESPUESTAS INFLAMATORIA
SUBCLÍNICA EN CABALLOS MEDIANTE MONITOREO
DE LA PROTEÍNA AMILOIDE A SÉRICA POST -
EJERCICIO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE MÉDICO VETERINARIO**

AUTOR: VICTOR ELIECER TOAPANTA TANGUILA

DIRECTOR: DR. EDWIN ERNESTO LANDI TORRES

CUENCA-ECUADOR

2026

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Victor Eliecer Toapanta Tanguila portador de la cédula de ciudadanía N° **1501178402**. Declaro ser el autor de la obra: **“Valoración de respuesta inflamatoria subclínica en caballos mediante monitoreo de la proteína amiloide A sérica post-ejercicio”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, **01 de septiembre del 2026**



Victor Eliecer Toapanta Tanguila

C.I. 1501178402

Certificación

Yo **Landi Torres Edwin Ernesto** con cédula de identidad N°0103755849 en calidad de director del Trabajo de Titulación con el tema: **“Valoración de respuesta inflamatoria subclínica en caballos mediante monitoreo de la proteína amiloide A sérica post-ejercicio”**, certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Toapanta Tanguila Victor Eliecer**, bajo mi supervisión.

Atentamente,



Dr. Landi Torres Edwin Ernesto
DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
DOCENTE DE LA CARRERA DE MEDICINA VETERINARIA

Assessment of subclinical inflammatory response in horses by monitoring post-exercise serum amyloid A protein

Valoración de respuesta inflamatoria subclínica en caballos mediante monitoreo de la proteína amiloide A sérica post-ejercicio

Autores:

Toapanta-Tanguila, Víctor Eliecer*
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Estudiante de la Carrera Medicina Veterinaria
Cuenca-Ecuador



victor.toapanta@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0008-4662-5205>

Dr. Landi-Torres, Edwin Ernesto
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Docente
Cuenca-Ecuador



edwin.landi@ucacue.edu



<https://orcid.org/0009-0001-1531-3312>

Ing. Maldonado-Cornejo, Manuel Esteban
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Docente
Cuenca-Ecuador



mmaldonadoc@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-1507-2280>

Fechas de recepción: 30-JUL-2026 aceptación: 05-AGOS-2026 publicación: 30-SEP-2026

*Autor de correspondencia: Toapanta-Tanguila, Víctor Eliecer



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigar.com/>

Resumen

La detección temprana de respuestas inflamatorias subclínicas en caballos deportistas constituye una herramienta útil para prevenir lesiones musculoesqueléticas asociadas al ejercicio, superando las limitaciones de la inspección clínica convencional ante esfuerzos moderados. El fin principal de este artículo ha sido examinar los niveles de proteína amiloide A sérica (SAA) como biomarcador de inflamación subclínica inducida por ejercicio físico en caballos del cantón Archidona. Metodológicamente se usó el diseño de tipo cuasiexperimental con una muestra de tres equinos machos mestizos sometidos a un protocolo de esfuerzo de 9 km en terreno irregular. Se cuantificó SAA mediante nefelometría y cortisol por electroquimioluminiscencia en estado basal (T_0) y post-ejercicio (24 h, T_1), correlacionándolos con las frecuencias cardíaca (FC) y respiratoria, y la escala de confort (ECAS). El 100% de los caballos evaluados obtuvo una puntuación de 0 en la escala de dolor, confirmando la ausencia de anomalías o signos clínicos algicos post-ejercicio. A nivel fisiológico y molecular, los resultados demostraron una moderada correlación, específicamente positiva, con una significancia estadísticamente moderada entre la frecuencia cardíaca y el SAA ($R=0.31$), existiendo una sensibilidad de la SAA para detectar respuestas inflamatorias individuales elevadas (hasta 18.6 mg/L). Por su parte, el cortisol evidenció una reducción significativa post-ejercicio ($p=0.046$) con respecto al basal, indicando una adecuada activación de la fase de recuperación homeostática acoplada a la estabilidad cardiorrespiratoria y etológica de los ejemplares. Se concluye que la variación de SAA no está asociada a una respuesta inflamatoria subclínica significativa, sin embargo, guarda relación con otros bio indicadores de actividad física en equinos.

Palabras clave. Amiloide A sérica, Biomarcadores, Cortisol, Ejercicio equino, Inflamación subclínica

Abstract

The early detection of subclinical inflammatory responses in sport horses is a useful tool for preventing exercise-associated musculoskeletal injuries, overcoming the limitations of conventional clinical examination during moderate exercise. The primary objective of this article was to examine serum amyloid A (SAA) levels as a biomarker of subclinical inflammation induced by physical exercise in horses from the Archidona region. Methodologically, a quasi-experimental design was used with a sample of three male mixed-breed horses that underwent a 9-km exercise protocol on uneven terrain. SAA was quantified by nephelometry and cortisol by electrochemiluminescence at baseline (T_0) and post-exercise (24 h, T_1), and these were correlated with heart rate (HR), respiratory rate, and the comfort scale (ECAS). One hundred percent of the horses evaluated scored 0 on the pain scale, confirming the absence of post-exercise abnormalities or clinical signs of pain. At the physiological and molecular levels, the results demonstrated a moderate, specifically positive correlation with moderate statistical significance between heart rate and SAA ($R = 0.31$), with SAA showing sensitivity in detecting elevated individual inflammatory responses (up to 18.6 mg/L). Cortisol, meanwhile, showed a significant post-exercise reduction ($p=0.046$) compared to baseline, indicating adequate activation of the homeostatic recovery phase coupled with the subjects' cardiorespiratory and ethological stability. It is concluded that variations in SAA are not associated with a significant subclinical inflammatory response; however, they are related to other biomarkers of physical activity in horses.

Keywords: Cortisol, Equine exercise, Serum amyloid A, Subclinical inflammation, Biomarkers

Introducción

En la medicina veterinaria deportiva actual, el ejercicio físico tanto moderado como de alta intensidad se reconoce como un estresor fisiológico crítico capaz de inducir respuestas inflamatorias de carácter subclínico. A diferencia de las patologías evidentes, esta respuesta "invisible" no presenta signos clínicos claros a simple vista; sin embargo, compromete severamente el rendimiento atlético, ralentiza los procesos de recuperación y aumenta la vulnerabilidad a trastornos graves como la rabdomiólisis de esfuerzo (Vásquez, 2022). Las similitudes en la respuesta celular del atleta equino y la expresión de citoquinas proinflamatorias con lo que se observa en atletas humanos hacen que su sistema inmunológico y neuroendocrino sean un modelo biológico adecuado para estudiar la fisiología del ejercicio (Winther et al., 2023).

Aunque esto tiene una gran relevancia, en Ecuador y específicamente en las zonas rurales de la Amazonía, como el cantón Archidona, falta mucho conocimiento debido a la ausencia de estudios sistemáticos que validen métodos precisos para monitorear este desgaste. La falta de conocimiento limita el diseño de estrategias de manejo eficientes y planes de nutrición clínica que se ajusten al contexto. Para obtener una verdadera eficiencia de una estrategia de manejo o un plan de nutrición, se requiere una evaluación previa de las alteraciones inducidas por el trauma en la homeostasis tisular, utilizando biomarcadores sanguíneos (Witkowska et al., 2024). Además, mediante la integración de marcadores metabólicos e inmunológicos con la hormona cortisol, es posible evaluar la duración y la gravedad del estrés inflamatorio (Kiemle et al., 2022).

En este contexto, en la práctica clínica equina, la proteína A de amiloide sérico (SAA) ha demostrado ser la proteína de fase aguda más útil, incluso superando a las demás. La razón es su aumento rápido y significativo en respuesta a estímulos inflamatorios y una disminución rápida después de que los estímulos cesan (Jacobsen, 2023). Esta característica nos permite detectar enfermedades subclínicas y monitorear la actividad inflamatoria desencadenada por el ejercicio.

Por esta razón, la siguiente pregunta de investigación se formula: ¿Qué sucede con los niveles de la proteína amiloide sérica A (SAA) antes y después de un ejercicio físico moderado en caballos del cantón de Archidona? Como respuesta preliminar, se piensa que el ejercicio físico moderado en estos sujetos implica la generación de una respuesta en la fase aguda en cuanto a inflamación que aumenta el SAA del período post-ejercicio, lo cual demostrará su utilidad como biomarcador de la salud muscular y para prevenir lesiones subclínicas.

Esta investigación tiene su base en la inmunología deportiva, la nutrición clínica y el bienestar animal. Al estudiar esta proteína en una población poco documentada, la investigación propuesta va más allá de los aspectos estrictamente clínicos y impacta directamente en el trato ético y la mejora del rendimiento de los caballos de la Amazonía ecuatoriana, constituyendo el primer enfoque para la implementación de la medicina veterinaria deportiva preventiva basada en datos locales.

La SAA es una proteína relevante de fase aguda que en respuesta a inflamación, infección y estrés celular se produce en los hepatocitos. En un individuo sano, los niveles séricos de SAA son casi indetectables, y ante cualquier alteración o estímulo en los tejidos, sus niveles cambian de manera dramática y rápida en la sangre (Polo et al., 2025). Dado que la SAA puede regresar rápidamente a la línea base cuando se elimina el estímulo, la SAA tiene una alta sensibilidad a las condiciones fisiológicas que cambian rápidamente. Esto permite que la SAA sea parte de sistemas diagnósticos novedosos para la detección temprana de condiciones que actualmente no presentan síntomas.

La Proteína A de Amiloide en suero (SAA) ha sido previamente descrita con alta sensibilidad al estrés fisiológico y la fatiga derivados del ejercicio. Al respecto, Hepworth et al., (2023) evaluaron este marcador en atletas equinos y afirmaron que la SAA tiene mayor utilidad en comparación con los marcadores hematológicos rutinarios del equino. Muchos marcadores de hematología rutinaria, como marcadores de inflamación (cuento de glóbulos blancos; fibrinógeno en suero) y coagulación (fibrinógeno en suero), muestran cambios lentos con el tiempo, mientras que la SAA responde de manera rápida y sensible. Esto mejora la medición del umbral del estrés fisiológico cuando un organismo se enfrenta a los límites de su capacidad de adaptación, y así, hace que la planificación de los intervalos de descanso y recuperación sea más precisa.

Según Witkowska et al., (2019), en su artículo de revisión, 'Proteína A de Amiloide en suero en la salud y enfermedad del equino', se establece que la proteína A de Amiloide en suero en équidos contribuye a evaluar la respuesta inflamatoria al ejercicio, y que se considera la número uno de proteína en équidos, pero de fase aguda. La SAA está siempre presente en la sangre de todos los animales, pero su concentración en suero es baja o indetectable en la sangre de animales sanos, y es mucho mayor en la sangre de animales con inflamación. Los autores creen que la SAA puede ser potencialmente muy útil como marcador diagnóstico de patologías subclínicas que puedan afectar el rendimiento de los animales de deporte en entrenamiento y competición.

Esto se debe a que tiene una vida corta en la sangre y, por lo tanto, es una herramienta útil para detectar procesos inflamatorios en curso y evaluar la respuesta al tratamiento. La evidencia de la literatura indica que las concentraciones de SAA varían significativamente en presencia de trastornos del sistema digestivo, respiratorio, reproductor, y después de cirugías, así como en caballos deportivos, para el monitoreo de su estado de salud (Pérez y Núñez, 2025). Las pruebas de diagnóstico rápido que pueden realizarse en campo o en laboratorio están siendo cada vez más accesibles.

Por lo tanto, el caballo de deporte (*Equus ferus caballus*) en el Cantón de Archidona, Ecuador, es un excelente espécimen de estudio. Las condiciones de gestión y medioambientales en las granjas rurales de la Amazonía crean restricciones y desafíos específicos para la homeostasis de los animales (May et al., 2023). Es importante entender cómo el esfuerzo físico afecta los biomarcadores de inflamación subclínica, ya que se activa para sostener la respuesta multisistémica del organismo ante el esfuerzo.

Para explicar esto, la fisiología del ejercicio en estos especímenes activa una respuesta multisistémica inmediata en la que tanto los sistemas cardiovascular y respiratorio aumentan la perfusión de oxígeno en el tejido muscular esquelético para mantener la contracción (Menegatti et al., 2022). Esta respuesta incluye un aumento masivo del gasto cardíaco, logrado mediante un aumento considerable del volumen de eyección y la frecuencia cardíaca. Al mismo tiempo, el bazo equino funciona como un importante depósito de glóbulos rojos, donde durante el ejercicio ocurre una contracción involuntaria del bazo, y millones de glóbulos rojos son liberados del bazo y circulan, aumentando así el hematocrito y la habilidad de la sangre para transportar oxígeno (Velásquez, 2025). En caballos no entrenados que ejercitan en el clima tropical húmedo de Archidona, la redistribución del flujo sanguíneo hacia la piel para la termorregulación puede resultar en una perfusión insuficiente del tejido muscular y en el retorno venoso, lo que causa fatiga muscular y microlesiones hipóxicas en el tejido muscular, que llevan a la producción de aminoácidos en etapa intensa.

Además, durante el galope, el sistema respiratorio equino debe estar perfectamente sincronizado con los requerimientos metabólicos, y debe existir una respuesta de sincronización perfecta entre la frecuencia respiratoria y la frecuencia de zancada. Un aumento en la ventilación alveolar satisface elimina el dióxido de carbono sobrante y presenta elevadas tasas de consumo de oxígeno (VO_2) (Wang et al., 2025). El caballo es un respirador nasal obligatorio, y aunque existen muchos factores que limitan el rendimiento atlético, el sistema respiratorio es el principal, y es propenso a la hipoxemia arterial inducida por ejercicio en demanda alta (Frezza et al., 2025). La limitación del intercambio gaseoso puede ser resultado de fatiga respiratoria o desafíos ambientales de la selva amazónica. En este caso, la disponibilidad de oxígeno celular disminuye, y los músculos esqueléticos se ven obligados a utilizar vías de metabolismo anaeróbico, lo que afecta negativamente el pH sistémico del animal y crea un estado de daño celular no manifiesto.

El esfuerzo físico limitado estimula la glucogenólisis hepática y muscular, así como la gluconeogénesis para mantener los niveles de glucosa en sangre necesarios para proporcionar un suministro constante de energía a las fibras musculares más activas. Estas vías metabólicas facilitan la producción de ATP celular, que se reformula mediante fosforilación oxidativa y glucólisis. La razón de medir la glucosa en este estudio está justificada porque está vinculada al equilibrio energético del caballo. Si, debido a la energía requerida por el esfuerzo exigido, existe un desequilibrio energético por la condición del caballo, esta vía metabólica se ve afectada negativamente, acelerando la fatiga (Pazmiño et al., 2021).

Además, el aumento en el consumo de oxígeno en la mitocondria del proceso resulta en la producción de especies reactivas de oxígeno que superan las defensas antioxidantes del caballo. Este estrés oxidativo resulta en la peroxidación lipídica dentro de las membranas celulares, causando daños en las fibras musculares y una respuesta inflamatoria subclínica aumentada, haciendo necesario evaluar los marcadores de daño tisular (Córdoba et al., 2017).

El eje Hipotálamo-Pituitaria-Adrenal (HPA) y el sistema nervioso simpático se activan durante el ejercicio debido a la naturaleza estresante de la actividad física. Niveles elevados de hormonas del estrés provocan la liberación de catecolaminas y glucocorticoides, principalmente cortisol, desde la corteza suprarrenal (Ruiz & Urcuqui, 2006). El cortisol apoya los procesos metabólicos de actividad intensa al estimular la lipólisis y la proteólisis para proporcionar sustratos para la gluconeogénesis (Martínez, 2021). Sin embargo, el cortisol tiene un efecto inmunomodulador donde suprime la inflamación, pero si el ejercicio es de intensidad o duración intensa o si el animal está no entrenado, las elevaciones constantes de cortisol cambian los leucocitos circulantes y afectan la síntesis hepática de proteínas. Para este estudio, la medición de cortisol es importante ya que, dentro del contexto de una respuesta al estrés, ayuda a determinar el grado de estrés psicofísico que el caballo está experimentando, así como la extensión de la respuesta inflamatoria sistémica.

En comparación con procesos patológicos evidentes, el ejercicio físico de intensidad moderada en caballos no entrenados causa depleción de glucógeno y formación de microlesiones en los músculos que inician la respuesta de fase aguda sin enfermedad clínica evidente (Aragona et al., 2025). Es aquí donde la cascada inmunitaria innata responde liberando citocinas proinflamatorias que viajan al hígado para inducir la síntesis de proteínas de fase aguda como la SAA. Al no existir signología externa macroscópica, la evaluación conjunta de estas adaptaciones cardiovasculares, respiratorias, metabólicas y endocrinas provee el sustento biológico indispensable para validar a la SAA como el biomarcador más sensible y temprano del desgaste físico en el equino deportivo de la región.

Por lo tanto, la inflamación subclínica o de bajo grado, es provocada por microlesiones debidas al ejercicio intenso o patologías incipientes, activa la fisiología del dolor mediante la liberación local de mediadores químicos. Las células del tejido afectado liberan sustancias como prostaglandinas, bradicinina y citocinas proinflamatorias, las cuales sensibilizan a los nociceptores o receptores del dolor (Carvalho et al., 2019). En este escenario subclínico, no siempre es evidente una cojera o una respuesta macroscópica visible, pero a nivel bioquímico existe una hiperalgesia primaria, donde los umbrales de dolor disminuyen y las fibras nerviosas se vuelven altamente reactivas a estímulos mecánicos normales.

Los nociceptores periféricos se estimulan y comienzan a transmitir una señal a través de una vía dedicada a lo largo de las fibras nerviosas aferentes hacia la lámina dorsal de la médula espinal. Esta vía finalmente impulsa la capacidad del cerebro para interpretar y dar percepción consciente a la entrada de dolor. Al mismo tiempo, una lesión en los tejidos inicia una respuesta de fase aguda en el hígado, que aumenta la concentración de ciertos marcadores proteicos como el amiloide A sérica (SAA) (Long y Nolen, 2020). En caballos atletas, esta activación del sistema nociceptivo y el consecuente daño muscular de bajo grado monitoreado mediante biomarcadores de actividad muscular alteran de forma silenciosa la biomecánica del animal, afectando sutilmente su rendimiento deportivo antes de que se manifieste una patología clínica evidente.

La respuesta inflamatoria de fase aguda (RIA o APR, por sus siglas en inglés) es el mecanismo de defensa innato e inespecífico más crítico de los seres vivos, diseñado para proteger al organismo frente a agresiones traumáticas, infecciosas o metabólicas. Se caracteriza por una orquestación compleja de cambios neuroendocrinos, hematopoyéticos y la síntesis hepática de Proteínas de Fase Aguda (PFAs) (Adepu et al., 2022). En el caballo atleta, esta respuesta es el eje central del diagnóstico, ya que permite identificar injurias tisulares antes de que se manifiesten signos clínicos evidentes. Durante este proceso, se activan específicamente biomarcadores de fase aguda mayores como el biomarcador SAA, marcadores moderados como la haptoglobina, el fibrinógeno y la ceruloplasmina, además de indicadores neuroendocrinos de estrés como el cortisol.

Las proteínas de fase aguda positivas son biomarcadores cuya concentración plasmática se incrementa como respuesta directa a la cascada inflamatoria, siendo de alto interés clínico para la monitorización del estado de salud sistémico. Estas se clasifican en mayores, moderadas y menores según la magnitud y rapidez de su respuesta (Mercader, 2019). Las PFAs mayores se caracterizan por encontrarse en concentraciones ínfimas o indetectables en individuos sanos, incrementando su nivel de forma masiva (más de 100 a 1000 veces) en un periodo corto tras el estímulo, y descendiendo rápidamente al resolverse la inflamación (Otsuka et al., 2025). En contraste, las PFAs moderadas y menores están presentes de forma fisiológica en el plasma y sus variaciones son menos dramáticas, elevándose comúnmente de 2 a 3 veces su valor basal (Ver Tabla 1).

Especie	PFA Principales (Aumentos > 1000 veces)	PFA Moderadas (Aumentos de 2-3 veces)
Hombre	CRP, SAA	AGP, Haptoglobina
Bovino	Haptoglobina, SAA	AGP, α -antitripsina
Porcino	CRP, pig-MAP	Haptoglobina
Équidos	SAA	CRP, Fibrinógeno
Perro	CRP	Haptoglobina

Tabla 1. Principales proteínas de fase aguda (PFAs) en diferentes especies.

Nota: Adaptado de (Mercader Ruiz, 2019)

La fase aguda es una reacción inmediata que busca aislar y neutralizar el agente causal. Sin embargo, si el estímulo persiste debido a un entrenamiento excesivo o infecciones no controladas, se produce un desequilibrio mediado por el estrés oxidativo, derivando en una fase crónica caracterizada por destrucción tisular y fibrosis (Zuluaga et al., 2022).

En la clínica equina, la PFA positiva mayor de máxima relevancia es el Amiloide A Sérica (SAA). El SAA es una apolipoproteína de fase aguda mayor y el precursor soluble de las placas amiloideas que pueden depositarse en órganos vitales como consecuencia de procesos inflamatorios crónicos. Su síntesis hepática es orquestada principalmente por las

citocinas proinflamatorias Interleucina-1 (IL-1) y la IL-6, secretadas por los macrófagos ante una injuria tisular (Yoshimura et al., 2021).

Estudios recientes subrayan que la sensibilidad del SAA supera considerablemente a la del fibrinógeno y a los recuentos leucocitarios convencionales. Mientras que el fibrinógeno (clasificado como PFA moderada) tarda hasta 48 horas en mostrar cambios y días en normalizarse, la SAA es una herramienta marcadamente más sensible para monitorizar de forma dinámica la respuesta clínica (Bastidas et al., 2025).

Un avance crítico en la patología clínica equina es la identificación de isoformas de SAA producidas localmente en las articulaciones. Koziy et al., (2025) demostraron que el aumento de SAA en el líquido sinovial no se debe únicamente a la inflamación local (como ocurre en la artritis séptica), sino también a la "fuga" o filtración de SAA sistémico hacia articulaciones incluso no afectadas de manera directa. No obstante, se ha identificado una isoforma articular específica que permite diferenciar con precisión la inflamación sistémica de la local, lo cual resulta vital para el diagnóstico diferencial de cojeras agudas asociadas a lesiones en las extremidades.

Para la correcta interpretación clínica de este biomarcador en los ejemplares evaluados, se adoptaron los rangos de referencia oficiales proporcionados por el laboratorio Livexlab Cía. Ltda (Montes, 2026). Estos parámetros permiten estadificar con precisión la severidad de los cuadros inflamatorios mediante la cuantificación analítica automatizada (Ver Tabla 2).

Estado Clínico	Concentración de SAA (mg/L)
Normal (Salud)	< 6,40
Sospecha de inflamación/infección leve	6,40 - 70
Inflamación/Infección elevada	> 70

Tabla 2. Valores de referencia de SAA para la detección de inflamación en equinos.
Nota: Datos ajustados según los criterios de sensibilidad de (Bastidas et al., 2025).

Las adaptaciones a nivel celular en los caballos se pueden observar después de 6 semanas de entrenamiento, especialmente si se utilizó entrenamiento de intervalos de alta intensidad como prescripción de ejercicio. El entrenamiento de intervalos de alta intensidad impactó significativamente y positivamente en el metabolismo del lactato y de las mitocondrias; en comparación, el entrenamiento continuo moderado produjo menos mejoras en la función celular y el metabolismo durante el mismo período de entrenamiento, y, por lo tanto, indicó que ocurren adaptaciones funcionales y metabólicas significativas de acuerdo con el estímulo de entrenamiento prescrito (Mukai et al., 2023).

Si un estímulo excede el nivel de condición del animal, se inicia una respuesta de fatiga. A nivel celular de los músculos, se acumulan metabolitos y ocurre estrés oxidativo. Si el estímulo del entrenamiento físico se sobrepasa y se usa una recuperación insuficiente, se genera un estado de fatiga, y se inicia una respuesta prolongada que resulta en pérdida del rendimiento atlético y lesión tisular.

La evaluación de la fatiga y el bienestar sistémico implica considerar el estrés neuroendocrino derivado del esfuerzo. El estrés en el caballo se explica como cualquier condición, ya sea física, psicológica o ambiental, que crea una alteración de la homeostasis del caballo y resulta en una serie de respuestas adaptativas (cambios organizativos) a nivel del organismo. Estas alteraciones son detectadas por el cuerpo como señales de estrés y, durante el ejercicio, estimulan la glándula pituitaria para liberar la hormona adrenocorticotrópica (ACTH) que es transportada en la sangre y alcanza la corteza suprarrenal, donde es responsable de la liberación de glucocorticoides, principalmente cortisol (Mikkelsen et al., 2017).

El cortisol, durante el ejercicio y especialmente durante actividades de alta intensidad, cumple un papel metabólico fundamental. Facilita la descomposición de proteínas y la liberación de aminoácidos, que son necesarios para que el metabolismo continúe. Aunque se puede decir que desempeña un papel clave como indicador metabólico durante el ejercicio, en realidad se ha establecido que es el indicador más representativo del bienestar animal (Blas et al., 2024). Niveles altos o prolongados de cortisol después del ejercicio indican que la intensidad del esfuerzo está más allá del límite fisiológico de adaptación, siendo un indicador válido de sobreentrenamiento y de un alto nivel de estrés.

En el caso de caballos atléticos, actividades de alta intensidad como el galope producen una respuesta inflamatoria considerable. Estudios en caballos árabes han mostrado que además de parámetros fisiológicos (frecuencia cardíaca y temperatura corporal), el galope aumenta los niveles de SAA ($p < 0,007$) (Wakil et al., 2022). La SAA aumenta rápidamente en respuesta a pequeñas cantidades de daño tisular causado por actividades extenuantes. Esto la convierte en un biomarcador valioso en medicina deportiva para diferenciar una respuesta saludable de un estado de sobreentrenamiento (Bollorino et al., 2025). La inflamación "invisible" es una inflamación subclínica que no es aparente y se manifestará a través de daños graves en el sistema musculoesquelético y daños musculares irreversibles. La inflamación subclínica puede detectarse midiendo los niveles de SAA después del ejercicio.

Existen biomarcadores tanto de cortisol como de SAA para medir el "desgaste psicofísico". Al considerar ambos biomarcadores, el cortisol representa una respuesta inmediata y la SAA representa una respuesta posterior y el resultado de una lesión en el tejido (Barrena, 2025).

La SAA y el cortisol tienen una biología estrechamente relacionada. El cortisol representa la respuesta a un esfuerzo, mientras que la SAA representa la respuesta a una lesión en el tejido. Durante un esfuerzo, el cortisol controla la respuesta inmunitaria y la inflamación afectando las citoquinas IL-1, IL-6 y TNF-alfa, que a su vez promueven la síntesis de proteínas de fase aguda en el hígado (Bolívar, 2022). Cuando un caballo está bien condicionado y apropiadamente entrenado, los niveles de cortisol alcanzan picos de manera más moderada y la SAA vuelve rápidamente a la línea base. Cuando un caballo está alterado con niveles elevados de cortisol y una SAA en aumento que se eleva

exponencialmente, esto indica que el caballo ha entrado en un estado de sobreentrenamiento, inflamación crónica subclínica y falta de equilibrio homeostático.

El esfuerzo físico se define como el estímulo mecánico y metabólico derivado de la actividad muscular de intensidad creciente o de naturaleza excéntrica (González et al., 2024). Las microlesiones en las líneas Z de las miofibrillas, las interrupciones del sarcolema y la utilización rápida del glucógeno muscular con un aumento en las ROS ocurren a nivel ultraestructural.

Estos fenómenos locales actúan como el detonante de la respuesta simpático-adrenérgica y de la cascada inflamatoria, activando la síntesis transcripcional y la liberación sistémica de interleucinas pro inflamatorias como la (*IL-1 β* , *IL-6* y *TFN- α*) incluso ante la absoluta ausencia de procesos infecciosos preexistentes o patologías clínicas evidentes.

El factor que proporcionará un contexto diagnóstico real para estos componentes es la ventana de muestreo de sangre. La estimulación molecular inducida por las citocinas *IL-6* e *IL-1* sobre el tejido hepático no es inmediata; requiere un periodo de latencia transcripcional.

Por esta razón, las concentraciones plasmáticas de este panel de fase aguda comienzan a elevarse significativamente de 10 a 100 veces su valor basal a partir de las 24 horas posteriores a la finalización del ejercicio (De Siqueira y Fernandes, 2024). En el ámbito de la medicina deportiva y el bienestar animal, conocer y respetar esta sincronización cronológica es el condicionante con mayor valor discriminativo del panel. Si la muestra se toma demasiado temprano (ej. inmediatamente al terminar el galope), se corre el riesgo de obtener un falso negativo, ignorando la inflamación subclínica o el daño microfibrilar en desarrollo.

El cortisol es un glucocorticoide sintetizado en la zona fasciculada de la corteza suprarrenal, cuya liberación constituye la respuesta endocrina primaria del equino ante estímulos que amenazan su homeostasis. El funcionamiento de este biomarcador está estrictamente regulado por el eje Hipotálamo-Hipófisis-Adrenal (HPA): ante un estresor físico o psicogénico, el hipotálamo secreta la hormona liberadora de corticotropina (CRH), la cual estimula a la adenohipófisis para la liberación sistémica de la hormona adrenocorticotrópica (ACTH); finalmente, la ACTH viaja por el torrente sanguíneo hasta unirse a sus receptores específicos en las células adrenales para gatillar la esteroidogénesis y liberar cortisol (Oladapo et al., 2025).

Durante el esfuerzo físico, esta activación cumple un rol metabólico adaptativo crítico. El cortisol estimula la gluconeogénesis hepática movilizand sustratos no glucídicos, induce la lipólisis en el tejido adiposo para suministrar ácidos grasos libres como fuente de energía y ejerce una acción proteolítica transitoria en el músculo esquelético para liberar aminoácidos. A nivel inmunitario, modula la respuesta inflamatoria aguda evitando que la liberación local de citocinas proinflamatorias cause un daño sistémico descontrolado. Fisiológicamente, los valores basales en equinos oscilan entre 2 y 8 $\mu\text{g/Dl}$, sin embargo, ante ejercicios de alta demanda o intensidades crecientes, estas concentraciones pueden

elevarse a rangos de 15–25 µg/dL, llegando a superar los 30 µg/dL cuando el animal experimenta un estrés agudo extremo (Damián et al., 2020).

Existe un umbral de intensidad (generalmente fijado por encima del 50-60% del VO_2 máx) por debajo del cual los niveles de cortisol no varían significativamente o incluso disminuyen debido a la aclaramiento plasmático. No obstante, una vez superado este umbral, el incremento de la concentración de cortisol es directamente proporcional a la dureza y, en especial, a la duración de la sesión física, reflejando el agotamiento paulatino de las reservas energéticas (Lenis, 2025). Además, en cuanto al estrés y de manejo, el caballo es un animal altamente sensible a los cambios de entorno. Factores como el transporte previo, el aislamiento social, el ruido, la novedad del circuito o las condiciones climáticas extremas de la Amazonía (alta humedad y temperatura) activan el componente psicológico del eje HPA. Esto puede provocar picos de cortisol elevados incluso antes de que comience el trabajo muscular mecánico. Y como parte del acondicionamiento físico, en caballos no entrenados o deficientemente acondicionados, el eje HPA muestra una reactividad significativamente mayor, liberando grandes cantidades de cortisol ante cargas de trabajo moderadas que un animal entrenado procesaría con una alteración endocrina mínima.

El bienestar animal se mide con la Escala de Evaluación de Comodidad Equina (ECAS). Cuando no es posible evaluar los estados afectivos (Marlin, 2025). La escala utiliza una combinación de factores fisiológicos y comportamentales para correlacionar el cortisol y la SAA con un dolor musculoesquelético instintivamente oculto, que el caballo tiende a enmascarar (Reyes y Jaramillo, 2020).

Las características evolutivas del caballo como especie de presa que requiere la capacidad de enmascarar el sufrimiento físico hacen que el monitoreo post-ejercicio utilizando la escala ECAS sea metodológicamente importante. El principio de funcionamiento de esta escala se basa en la detección de cambios conductuales menores, como cambios sutiles en la posición de las orejas, labios, rigidez cervical o cambios en la distribución del peso, todo lo cual puede indicar el inicio temprano de miopatía y/o sobreesfuerzo, incluso antes de que se observe cojeo (Ponce et al., 2024). De esta manera, la escala evalúa la validez cualitativa del malestar tisular que se refleja en la elevación de biomarcadores séricos, SAA y cortisol, ofreciendo una opción preventiva térmica no invasiva para la protección del bienestar del atleta equino y la optimización de su período de recuperación biológica.

Esta escala de evaluación de la intensidad del dolor va del 0 al 4, basada en la postura y el comportamiento, así como en la presencia de signos clínicos tempranos. El nivel 0 de la escala muestra una postura relajada y no hay signos o parámetros que indiquen la presencia de dolor. El nivel 1 de la escala indica dolor que se manifiesta a través de tensión local y leves signos de cambio en la marcha. El nivel 2 de la escala indica dolor moderado y se caracteriza por la posición de la cabeza del caballo por debajo de los antebrazos, aislamiento y presencia de elevaciones. El nivel 3 de la escala indica dolor severo y se manifiesta en los caballos mediante rigidez, signos visibles de sudoración y cojera (Arguedas et al., 2023). El último nivel, nivel 4 de la escala, indica dolor de una naturaleza

extremadamente intensa y se caracteriza por el caballo en un estado completamente colapsado o mediante posturas forzadas.

Las variables en este estudio se integran de manera sinérgica para evaluar el nivel de estrés, la respuesta inflamatoria subclínica y los cambios fisiológicos resultantes del ejercicio moderado (Maldonado et al., 2024). El cortisol puede ser utilizada para proporcionar una medida cuantitativa y relativa de la activación neuroendocrina con respecto a la carga de trabajo, pero la SAA es un marcador más adecuado de la lesión tisular microscópica y la respuesta retardada de la fase aguda. La escala etológica ECAS complementa las pruebas de laboratorio interpretando la fatiga metabólica e inmunológica en comportamiento y postura (Moreno et al., 2024). El análisis combinado de estos parámetros bioquímicos y clínicos cumple con la necesidad de signos visibles en las etapas más avanzadas de fatiga, y proporciona un medio novedoso, objetivo y preventivo para evaluar el umbral de una respuesta adaptativa saludable y la incomodidad en el sistema musculoesquelético del caballo atlético.

Material y métodos

Material

La investigación se realizó en el Rancho "San Elías", dedicados a la crianza y manejo de caballos ubicada en la parroquia Cotundo en el cantón Archidona de la provincia de Napo en Ecuador (Google Maps , 2025). El área de estudio se encuentra en la región del Alto Amazonas con un ecosistema de bosque premontano húmedo (Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2015).

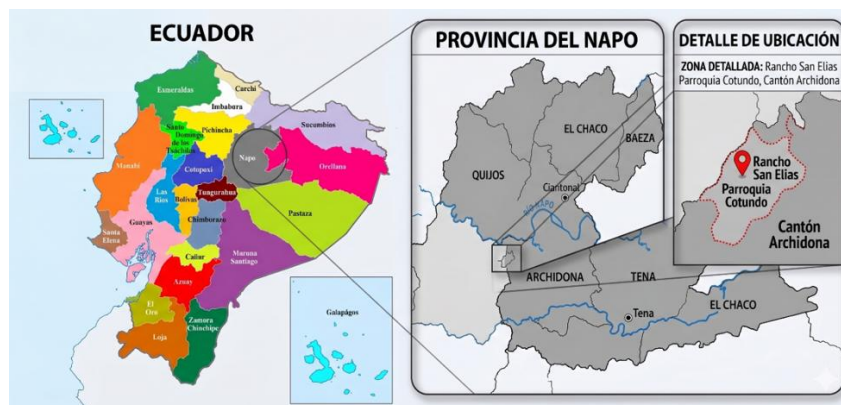


Figura 1. Ubicación Geográfica

Fuente: Google Maps (2025).

Las condiciones climáticas promedio del sector incluyen una pluviosidad anual superior a los 3500 mm, una humedad relativa aproximada del 80%, una altura de 90 msnm y temperaturas que oscilan entre los 18°C y 28°C (Instituto Nacional de Antropología e Historia, 2015). Estas variables ambientales son determinantes, ya que el terreno presenta una topografía irregular y suelos arcillosos que incrementan la resistencia física durante el galope, factor que influye directamente en la fatiga muscular y la respuesta metabólica de los ejemplares (ver figura 1).

Métodos

La investigación se llevó a cabo mediante un enfoque cuantitativo, en el cual se capturaron patrones conductuales de las variables de interés a través de mediciones cuantitativas. El diseño fue de tipo observacional y cuasiexperimental, dado que se manipuló deliberadamente el factor "ejercicio físico moderado" en una población ya establecida, sin que existiera una asignación aleatoria de los sujetos debido a la disponibilidad de los ejemplares en el predio.

Además, el diseño de la investigación fue longitudinal y de tipo correlacional asociativo. Fue longitudinal porque, en este caso, fue posible evaluar la cinética de la proteína Serum Amyloid A (SAA) y el resto de los biomarcadores en los mismos sujetos en dos momentos críticos: en la línea base (pre-prueba) y durante la fase post-ejercicio de recuperación (post-prueba) para analizar las medidas repetidas. Finalmente, el componente correlacional se orientó a determinar el grado de asociación estadística entre el esfuerzo físico y la variación de dichos biomarcadores inflamatorios y endocrinos.

Para la aplicación del protocolo, se seleccionaron tres caballos machos cruzados clínicamente sanos del Rancho "San Elías". Los caballos tenían entre 3 y 10 años de edad, pesaban entre 350 y 450 kg, y estaban acostumbrados al manejo y a la topografía local. Se excluyeron ejemplares con cojeras, patologías respiratorias, o tratados con AINEs o corticoides en los 15 días previos. Las unidades experimentales quedaron constituidas por Elegido (3 años), Elegante (6 años) y Tintero (10 años), cuya homogeneidad en raza, sexo y origen garantizó la uniformidad del estudio.

El diseño metodológico del estudio contempla como variable independiente el esfuerzo físico, evaluado a través de dos tratamientos correspondientes al estado basal o de reposo previo al ejercicio (T_0) y al estado post-ejercicio que refleja el efecto del esfuerzo acumulado (T_1). Por otra parte, las variables dependientes se clasifican en cuatro dimensiones: las bioquímicas, que miden los niveles de Proteína Amiloide A Sérica (SAA) en miligramos por litro (mg/L); las endocrinas, centradas en la concentración de Cortisol en microgramos por decilitro ($\mu\text{g/dL}$); las fisiológicas, enfocadas en el monitoreo de la Frecuencia Cardíaca (FC) y la Frecuencia Respiratoria (FR); y finalmente las etológicas, evaluadas mediante la Escala de Comportamiento y Confort (ECAS). Asimismo, se controlan como covariables o factores intervinientes la distancia recorrida, la cual se mantiene constante en un trayecto de 9 kilómetros, junto con la intensidad del ejercicio y la orografía del terreno.

Para garantizar la replicabilidad del estudio, el procedimiento se dividió en tres fases ejecutadas durante tres ciclos de prueba. Quince minutos antes del esfuerzo, se registraron en reposo la FC (auscultación), la FR (movimientos costales) y el estado anímico (escala ECAS). La fase de esfuerzo consistió en un recorrido de 9 km a ritmo controlado de moderado a alto, aprovechando las pendientes de Archidona para inducir inflamación subclínica.

Las muestras de sangre (10 ml) se colectaron por venopunción yugular en tubos con gel separador en estado basal (T_0) y entre las 24 horas post-ejercicio (T_1). Tras refrigerarse de 4°C a 8°C, se trasladaron al laboratorio LIVEXLAB (certificado por SAE y

Agrocalidad). La SAA fue cuantificada por Nephelometría y el Cortisol por Electroquimioluminiscencia, ambas técnicas de alta sensibilidad aplicables para diagnosticar cambios internos tempranos de interés en animales externamente sanos.

Los datos recolectados se tabularon en Excel y se procesaron en IBM SPSS. Debido a la muestra pequeña ($n=3$), se realizó la prueba no paramétrica de Shapiro-Wilk. Se realizó una prueba t pareada para comparar las medias de SAA y Cortisol antes y después del ejercicio. Para el análisis de las variaciones entre repeticiones, se realizó un ANOVA de Medidas Repetidas. Se realizó una correlación de Pearson para determinar la asociación lineal entre los biomarcadores y los parámetros fisiológicos recopilados (frecuencias cardíaca y respiratoria) durante el experimento.

Resultados

Los resultados de las mediciones fisiológicas y bioquímicas se presentan en la Tabla 3. La frecuencia cardíaca aumentó de 36.3 ± 2.29 lpm a 39.7 ± 5.79 lpm; sin embargo, esta diferencia no fue estadísticamente significativa ($p = 0.128$). De igual manera, la frecuencia respiratoria pasó de 22.8 ± 3.80 rpm a 24.7 ± 5.39 rpm, sin diferencias significativas ($p = 0.403$). La temperatura corporal registró un incremento de 37.0 ± 0.55 °C a 37.3 ± 0.53 °C, con un valor de $p = 0.309$.

El cortisol sérico disminuyó de 4.45 ± 1.66 µg/dL en la medición basal a 3.09 ± 0.91 µg/dL después del ejercicio, diferencia que fue estadísticamente significativa ($p = 0.046$). Por otra parte, la concentración de SAA aumentó de 4.10 ± 3.81 mg/L a 5.78 ± 6.07 mg/L; no obstante, esta variación no alcanzó significancia estadística ($p = 0.820$).

Variable	N	Basal (Media ± DE)	Después (Media ± DE)	Basal (Máx/Mín)	Después (Máx/Mín)	P
FC (lpm)	9	36.3 ± 2.29	39.7 ± 5.79	40 / 32	48 / 30	0.128
FR (rpm)	9	22.8 ± 3.80	24.7 ± 5.39	28 / 18	30 / 16	0.403
Temperatura (°C)	9	37.0 ± 0.55	37.3 ± 0.53	38.0 / 36.2	38.3 / 36.8	0.309
Cortisol	9	4.45 ± 1.66	3.09 ± 0.91	7.32 / 2.61	4.33 / 1.53	0.046*
SAA	9	4.10 ± 3.81	5.78 ± 6.07	11.6 / 0.81	18.6 / 0.80	0.820

Tabla 3. Prueba T para Muestras Independientes

Nota. $H_a \mu_{\text{basal}} \neq \mu_{\text{después}}$

(a) La prueba de Levene significativa ($p < 0.05$) sugiere que las varianzas no son iguales

(b) (Se realizó una prueba No Paramétrica)

La prueba de Levene significativa ($p < 0.05$) indicó que las varianzas no fueron homogéneas, por lo que se aplicó una prueba no paramétrica.

La Figura 3 muestra la comparación de los niveles de cortisol entre el momento basal y posterior al ejercicio, incluyendo los intervalos de confianza del 95 %, donde se observa la disminución significativa de este biomarcador.

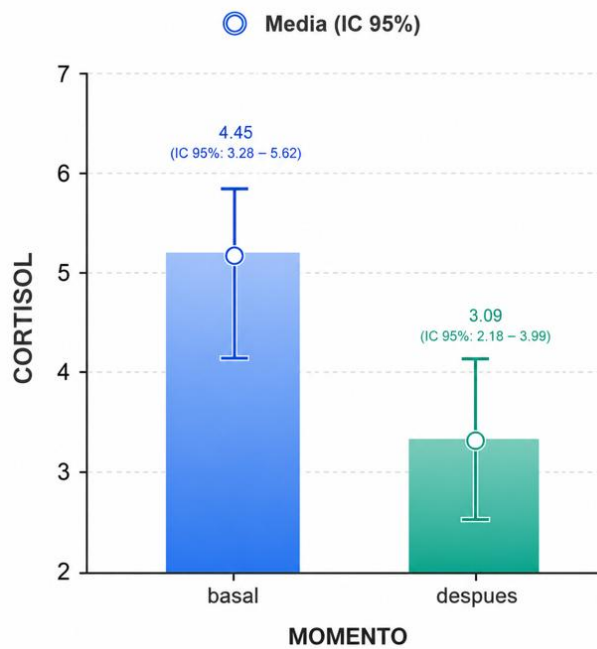


Figura 2: Grafico del nivel de cortisol (Infostat, AI)

Representa la variación de la prueba T-student y, detalla los intervalos de confianza (95%) entre el momento basal y el después de los niveles de cortisol

En relación con la evaluación clínica, la Escala Equine Comfort Assessment Scale (ECAS) registró una puntuación de cero en el 100 % de los ejemplares, lo que indica ausencia de manifestaciones clínicas compatibles con dolor, cojera o alteraciones de la marcha durante el periodo de evaluación.

Análisis de los resultados

Con base en los resultados estadísticos presentados en la Tabla 3 y la Tabla 4, la prueba de comparación de medias determinó que la proteína amiloide A sérica (SAA) no presentó diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones basal y posterior al ejercicio ($p = 0.820$). En cambio, el cortisol mostró una diferencia de $p=0.046$, lo que indica una variación en la actividad endocrina post-ejercicio.

El análisis de correlación de Pearson reveló una correlación estadísticamente significativa, moderadamente positiva, entre la frecuencia cardíaca (FC) y los niveles de Albúmina Sérica A (SAA) ($R = 0.31$, $p < 0.05$), lo cual indica que los animales con frecuencias cardíacas elevadas también tienen niveles elevados de un biomarcador inflamatorio en este caso.

	FC	FR	TEMP	CORTISOL	SAA
FC	1.00 —	0.68	0.42	-0.52	0.31
FR	0.68	1.00 —	0.55	-0.47	0.27
TEMP	0.42	0.55	1.00 —	-0.58	0.46
CORTISOL	-0.52	-0.47	-0.58	1.00 —	-0.62
SAA	0.31	0.27	0.46	-0.62	1.00 —

■ Positiva alta (≥ 0.6)
 ■ Positiva moderada (0.3 a 0.59)
 ■ Positiva baja (0 a 0.29)
 ■ Negativa baja (0 a -0.29)
 ■ Negativa moderada (-0.3 a -0.59)
 ■ Negativa alta (< -0.6)

Tabla 4. Matriz de Correlaciones de Pearson para variables fisiológicas, bioquímicas y endocrinas.

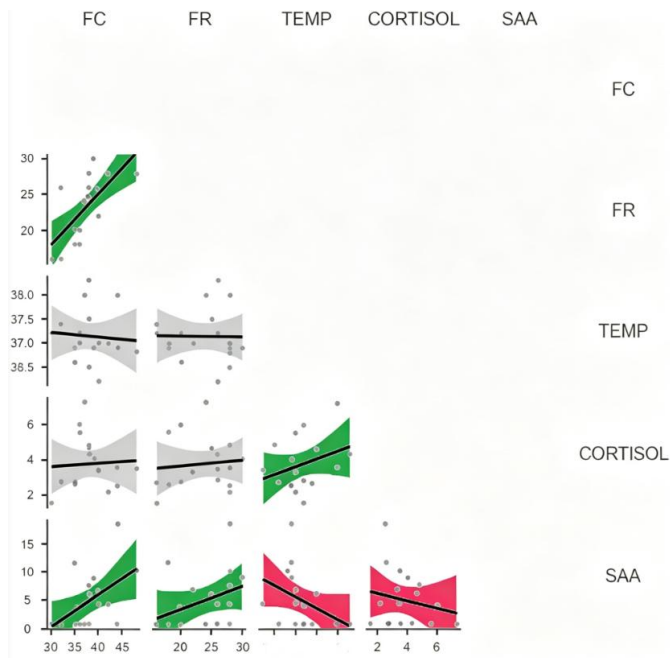


Figura 3: Grafico de la correlación de Pearson

Discusión

De este estudio, se puede concluir que realizar ejercicio moderado en una topografía irregular del cantón de Archidona generó diferentes respuestas fisiológicas, dependiendo del biomarcador relacionado con el ejercicio. Mientras que el cortisol disminuyó significativamente post-ejercicio, la SAA no mostró diferencias significativas a nivel grupal, lo que indica que la actividad física no causó una respuesta inflamatoria sistémica generalizada.

El ligero aumento en la FC y la frecuencia respiratoria post-ejercicio, aunque estadísticamente no significativo, refleja cambios/adaptaciones cardiovasculares respiratorias adecuadas durante el período de recuperación de los animales. Esta es una respuesta fisiológica esperada ante la realización de ejercicios de intensidad moderada.

La disminución de cortisol post-ejercicio se debe a la recuperación de la homeostasis del eje hipotálamo-hipófiso-adrenal. Esta hormona aumenta durante el ejercicio, ya que ayuda a proporcionar energía a través de la glucogenólisis y la gluconeogénesis.

Esto está en línea con lo reportado por Padrón-Pesantez et al. (2024) y Aragona et al. (2025), indican que el ejercicio controlado devuelve rápidamente el cortisol a los niveles previos al ejercicio, y esto es indicativo de una recuperación metabólica adecuada y del bienestar de los animales. Lenis (2025) y Zuluaga et al. (2022) documentan niveles aumentados de cortisol con ejercicio prolongado y/o intenso, y uso de superficies más desafiantes con équidos.

Las diferencias insignificantes en SAA pueden atribuirse a la cinética específica de este biomarcador. Es bien conocido que el cortisol presenta una respuesta sistémica rápida, mientras que la elevación de la SAA es un proceso lento y de múltiples pasos que incluye la activación de citoquinas proinflamatorias y su síntesis en el hígado. En consecuencia, toma al menos 24 horas, y puede tomar hasta 48 horas, alcanzar niveles elevados de SAA tras un estímulo.

Aunque los datos generales del grupo no mostraron cambios significativos, las muestras individuales alcanzaron niveles máximos de SAA de 18.60 mg/L. Esto indicó que había una variabilidad biológica significativa en el grupo. Estas elevaciones probablemente se deban a la remodelación del músculo esquelético como resultado del ejercicio.

Este comportamiento coincide con Witkowska-Piłaszewicz et al. (2024), quienes describen una elevada variabilidad individual de la SAA durante ejercicios controlados. De igual manera, Escárcega (2024) señala que el ejercicio moderado puede producir incrementos transitorios de esta proteína como parte del proceso normal de adaptación muscular.

La correlación positiva encontrada entre la frecuencia cardíaca y la SAA respalda la hipótesis de que un mayor costo cardiovascular se asocia con una mayor activación de la respuesta inflamatoria de fase aguda. Estos resultados concuerdan con los reportados por Buñay (2018) y Wakil et al. (2022), quienes demostraron que la concentración de SAA aumenta proporcionalmente con la intensidad del esfuerzo físico. Asimismo, Cumilef (2024) destaca la utilidad de este biomarcador para detectar de forma temprana procesos de sobrecarga muscular antes de que aparezcan manifestaciones clínicas.

Finalmente, la ausencia de alteraciones clínicas mediante la ECAS, junto con las variaciones observadas en los biomarcadores, indica que el protocolo de ejercicio no superó la capacidad adaptativa de los animales. Estos resultados apoyan los planteamientos de Müller (2023), Bollorino-Montoya et al. (2025) y Muriel (2016), quienes sostienen que la SAA permite identificar cambios fisiológicos subclínicos que aún no son detectables mediante la evaluación clínica convencional, convirtiéndose en una herramienta útil para el monitoreo preventivo de equinos sometidos a entrenamiento deportivo.

Conclusiones

Después del ejercicio, la SAA no mostró cambios a nivel de grupo, lo que sugiere una respuesta biológica que presenta una variación individual significativa.

El cortisol sérico exhibe un cambio post-ejercicio en relación con la línea base establecida.

Se demostró la existencia de una correlación positiva moderada entre la frecuencia cardíaca y los niveles de SAA, ratificando la relación directa entre el costo cardiovascular y la respuesta bioquímica.

El 100% de los ejemplares evaluados no presentaron manifestaciones clínicas macroscópicas de dolor, cojera o sufrimiento animal.

Referencias bibliográficas

- Adepu, S., Ekman, S., Leth, J., Johansson, U., Lindahl, A., & Skiöldebrand, E. (2022). Biglycan neo-epitope (BGN262), a novel biomarker for screening early changes in equine osteoarthritic subchondral bone. *Osteoarthritis and Cartilage*, 30(10), 1328–1336. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2022.07.005>
- Aragona, F., Giannetto, C., Piccione, G., Arfuso, F., Arrigo, F., Costa, A., De Caro, S., Cannuli, A., & Fazio, F. (2025). Effect of time of day and physical exercise on inflammatory biomarkers in athletic horses. *Frontiers in Veterinary Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1608770>
- Arguedas Herrera, J., Solórzano Morales, A., & Dolz, G. (2023). Hemoparásitos en equinos de la Unidad de la Policía Montada del Ministerio de Seguridad Pública de Costa Rica. *Ciencias Veterinarias*, 41(1). <https://doi.org/10.15359/rev.41-1.2>
- Barrena, C. J. P. (2025). Efecto del ejercicio y estrés farmacológico sobre la función cardiovascular en equinos. *Facultad de Ciencias Veterinarias*.
- Bastidas, M., Bauer, B., Yang, J., & Chun, K. (2025). B-130 Quantification of the Sensitive Inflammatory Marker Serum Amyloid A (SAA) by Electrochemiluminescence Immunoassay. *Clinical Chemistry*, 71(Supplement_1). <https://doi.org/10.1093/clinchem/hvaf086.526>
- Blas Sánchez, M., Ágreda Gutiérrez, S., Benedí Forcén, S., Fuentes Carabantes, S., Jarabo Carcas, M. J., & Denisa Podar, O. (2024). Revisión sistemática sobre el beneficio sobre la salud de las terapias con animales. *Revista Sanitaria de Investigación*, 5(11).
- Bolívar, V. N. A. (2022). Niveles basales de glucosa sanguínea en caballos criollos de carrera (*Equus caballus*) del distrito de Chuquibambilla, Provincia de Grau.
- Bollorino-Montoya, D., Santos-Bajaña, N., Mielles-Soriano, G., & González-Puetate, I. (2025). Indicadores de dolor e inflamación en equinos: revisión de literatura en medicina deportiva. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 7(5), 259–266. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v7i5.1657>
- Carvalho Filho, W. P., Fonseca, L. A., Girardi, F. M., Bento, L. D., Souto, P. C., & Orozco, A. M. O. (2019). Serum amyloid A and muscle activity biomarkers in horses submitted to equestrian show jumping. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 39(8), 668–671. <https://doi.org/10.1590/1678-5150-pvb-6218>

- Córdoba-Izquierdo, A., Villa Mancera, E. A., Huerta Crispín, R., & Rodríguez Denis, B. E. (2017). Factores externos que pueden ocasionar estrés en caballos. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 11(1). <https://doi.org/10.5209/rccv.56116>
- Damián, M. Á., Aguirre, V., Orihuela, A., Pedernera, M., Rojas, S., & Olivares, J. (2020). Tiempo de manejo y algunas conductas relacionadas con el estrés al manejar grupos grandes o reducidos de ganado en mangas rectas. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 11(3), 905–913. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i3.5127>
- De Siqueira, R. F., & Fernandes, W. R. (2024). Dynamic Hematological Responses in Endurance Horses: Unraveling Blood Physiological Markers of Exercise Stress and Recovery. *International Journal of Equine Science*, 3(2), 74–81. <https://doi.org/10.64292/ijes.116>
- Frezza, M. S., Picco, S. J., & Muriel, M. G. (2025). Síndrome del Asma Equino. *Revista Veterinaria*, 36(2), 1–15. <https://doi.org/10.30972/vet.3628429>
- González-Puetate, I., Valle-Mieles, E., & Palacios Macías, M. (2024). Enfermedades transmitidas por vectores en equinos. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria PENTACIENCIAS*, 6(7), 405–419. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v6i7.1347>
- Hepworth-Warren, K. L., Estell, K., Cowles, B., Amodie, D., & Crisman, M. (2023). Utility of serum amyloid A in monitoring clinical response to antimicrobial treatment in horses with bacterial pneumonia. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 37(5), 1917–1922. <https://doi.org/10.1111/jvim.16818>
- Jacobsen, S. (2023). Use of serum amyloid A in equine medicine and surgery. *Veterinary Clinical Pathology*, 52(S1), 8–18. <https://doi.org/10.1111/vcp.13195>
- Kiemle, J., Hindenberg, S., Bauer, N., & Roecken, M. (2022). Comparison of a point-of-care serum amyloid A analyzer frequently used in equine practice with 2 turbidimetric immunoassays used in human and veterinary medicine. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 34(1), 42–53. <https://doi.org/10.1177/10406387211056029>
- Koziy, R. V., Katselis, G. S., Yoshimura, S., Simko, E., & Bracamonte, J. L. (2025). Temporal kinetics of serum amyloid A (SAA) concentration and identification of SAA isoforms in blood and synovial fluid of horses with experimentally induced septic arthritis, non-septic synovitis, and systemic inflammation. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 37(1), 42–54. <https://doi.org/10.1177/10406387241299873>
- Lenis, Á. S. (2025). *Caracterización de variables hematológicas, concentración de lactato, cortisol y lipopolisacáridos en sangre de caballos de paso colombianos sometidos a ejercicio en superficie dura y en piscina.*
- Long, A., & Nolen-Walston, R. (2020). Equine Inflammatory Markers in the Twenty-First Century. *Veterinary Clinics of North America: Equine Practice*, 36(1), 147–160. <https://doi.org/10.1016/j.cveq.2019.12.005>
- Maldonado Soto, S. X., Moreno Carrillo, P. J., Pedraza Castillo, L. N., & Jaramillo-Hernández, D. A. (2024). Estatus hídrico y cortisol sérico en equinos durante cabalgatas culturales en el Meta (Colombia). *Revista de Investigaciones Veterinarias Del Perú*, 35(2). <https://doi.org/10.15381/rivep.v35i2.27850>
- Marlin, D. J. (2025). Comparison of Transverse Thoracolumbar Angles in Dressage and Endurance Horses Using 3D Light Scanning and Comparison with Commercial Saddle

- Gullet Angles. *International Journal of Equine Science*, 4(2), 140–146.
<https://doi.org/10.64292/305rrm51>
- Martínez, C. C. A. (2021). Distrés, variabilidad de la frecuencia cardiaca, comportamiento y vocalizaciones de la yegua ante la separación de su potrillo. *Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Xochimilco*.
- May-Davis, S., Dzingle, D., Saber, E., & Blades Eckelbarger, P. (2023). Characterization of the Caudal Ventral Tubercle in the Sixth Cervical Vertebra in Modern Equus ferus caballus. *Animals*, 13(14), 2384. <https://doi.org/10.3390/ani13142384>
- Menegatti, R. L., Toniazco de Matos, A., Morales-Donoso, J. A., & Fernandes de Melo, C. M. (2022). Evaluación del perfil fisiológico, hematológico y bioquímico sanguíneo relacionado con la fisiología del ejercicio de caballos sometidos al deporte de lazo. *Ciencias Veterinarias*, 40(2), 1–8. <https://doi.org/10.15359/rcv.40-2.3>
- Mercader Ruiz, B. (2019). Proteínas de fase aguda en la clínica equina. *Universidad de Zaragoza, VET*,.
- Mikkelsen, K., Stojanovska, L., Polenakovic, M., Bosevski, M., & Apostolopoulos, V. (2017). Exercise and mental health. *Maturitas*, 106, 48–56.
<https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2017.09.003>
- Montes, T. (2026). INFORME DE RESULTADO DE AMILÓIDE A SÉRICO EQUINO. *Laboratorio de Diagnostico LIVEXLAB*.
- Moreno Carrillo, P. J., Molina Ramos, C. L., Colmenares López, J. A., Martínez Molina, A. A., & Torres Murcia, K. A. (2024). Anabolizantes vs. reproducción en equinos. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 14(2). <https://doi.org/10.22579/22484817.1028>
- Mukai, K., Takahashi, Y., Ebisuda, Y., Sugiyama, F., Yoshida, T., & Miyata, H. (2023). Physiological Adaptation To High-Intensity Interval Training And Moderate-Intensity Continuous Training In Horses. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 55(9S), 196–196.
<https://doi.org/10.1249/01.mss.0000981548.70261.cf>
- Oladapo, I. P., Olagunju, A. S., Akinsulie, O. C., Proença, E., Yoshitani, U. Y., & Molento, M. B. (2025). The Effect of Physical Activity on Cytokine Production: A Systematic Parallel Study of Horse and Human Athletes. *International Journal of Equine Science*, 4(2), 199–213. <https://doi.org/10.64292/ijes.198>
- Otsuka, M., Murakami, Y., Hirata, H., Okamoto, M., & Suzuki, K. (2025). *The diagnostic ability of serum Fe concentrations as a marker of inflammation in horses*.
<https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-7656132/v1>
- Pazmiño Galarza, F., Romero Celleri, L., Grijalva Olmedo, J., & Aragón Vázquez, E. (2021). Suplementación de cromo sobre concentraciones séricas de glucosa, cortisol e insulina en equinos deportistas. *Revista Alfa*, 5(14). <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.113>
- Pérez-Palacios, J. L., & Núñez-Torres, O. P. (2025). Síndrome abdominal agudo en equinos: una actualización en diagnóstico y tratamiento. *MQR Investigar*, 9(1).
<https://doi.org/10.56048/mqr20225.9.1.2025.e47>
- Polo León, J. L., Parra-Guayasamín, S., Yépez-Espinosa, D. M., & González-Puetate, I. (2025). Biomarcadores inflamatorios como herramientas para la detección temprana de la laminitis y el deterioro del bienestar en bovinos de engorde. *Revista Científica Arbitrada*

- Ponce-Ponce, L. L., Castillo-Castillo, A. E., & Hidrovo-Pacheco, T. (2024). Concentraciones de cortisol asociadas a estrés laboral en adultos. *MQRInvestigar*, 8(1).
<https://doi.org/10.56048/mqr20225.8.1.2024.470-490>
- Reyes Cardona, D., & Jaramillo Hernández, D. A. (2020). Evaluación y tratamiento polimodal del dolor musculo esquelético y abdominal en equinos. *Revista Sistemas de Producción Agroecológicos*, 11(1), 67–100. <https://doi.org/10.22579/22484817.464>
- Ruiz Sáenz, J., & Urcuqui-Inchima, S. (2006). REPLICACIÓN DEL HERPESVIRUS EQUINO Y SU ASOCIACIÓN CON LA PATOGÉNESIS MOLECULAR Equine Herpesvirus Replication and It's Association with Molecular Pathogenesis. In *Acta Biológica Colombiana* (Vol. 11, Number 2).
- Vásquez, A. A. T. (2022). Informe Pasantía Con Proyección Empresarial Como Modalidad De Grado En El Criadero Militar El Remanso . *Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia*.
- Velásquez, M. F. M. (2025). Niveles de proteína total sérica en caballos peruano de paso en pre y post ejercicio. *Revista Electronica De Veterinaria*.
<https://doi.org/10.69980/redvet.v26i2.2135>
- Wakil, Y., Adamu, L., Gulani, I., & Bukar, M. M. (2022). Physical assessment, Hematological and Serum Amyloid A levels Pre and Post exercise in Arabian Horses in Maiduguri and Jere, Borno State. Nigeria. *International Journal of Equine Science*, 1(1), 11–15.
<https://doi.org/10.64292/ijes.10>
- Wang, T., Meng, J., Yang, X., Zeng, Y., Yao, X., & Ren, W. (2025). Metabolómica diferencial y función cardíaca en caballos de alto rendimiento Yili entrenados y no entrenados. *Animals*, 15(16).
- Winther, M. F., Haugaard, S. L., Pihl, T. H., & Jacobsen, S. (2023). Concentrations of neutrophil <scp>gelatinase-associated</scp> lipocalin are increased in serum and peritoneal fluid from horses with inflammatory abdominal disease and non-strangulating intestinal infarctions. *Equine Veterinary Journal*, 55(3), 426–434. <https://doi.org/10.1111/evj.13603>
- Witkowska-Piłaszewicz, O. D., Żmigrodzka, M., Winnicka, A., Miśkiewicz, A., Strzelec, K., & Cywińska, A. (2019). Serum amyloid A in equine health and disease. *Equine Veterinary Journal*, 51(3), 293–298. <https://doi.org/10.1111/evj.13062>
- Witkowska-Piłaszewicz, O., Malin, K., Dąbrowska, I., Grzędzicka, J., Ostaszewski, P., & Carter, C. (2024). Immunology of Physical Exercise: Is Equus caballus an Appropriate Animal Model for Human Athletes? *International Journal of Molecular Sciences*, 25(10), 5210. <https://doi.org/10.3390/ijms25105210>
- Yoshimura, S., Koziy, R., Dickinson, R., Moshynskyy, I., McKenzie, J., Simko, E., & Bracamonte, J. (2021). Uso de amiloide sérico A en suero y líquido sinovial para detectar la erradicación de la infección en artritis séptica experimental en caballos. *REVISTA CANADIENSE DE INVESTIGACIÓN VETERINARIA - REVUE CANADIENNE DE RECHERCHE VETERINAIRE*, 84, 198–204.

Zuluaga Cabrera, A. M., Casas Soto, M. J., Martínez Aranzales, J. R., Castillo Vanegas, V. E., Correa Valencia, N. M. del P., & Arias Gutiérrez, M. P. (2022). Parámetros hematológicos, bioquímicos y endocrinos en la respuesta aguda al ejercicio de intensidad creciente en caballos de Paso colombianos. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(1), 211–224. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i1.5882>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

Victor Eliecer Toapanta Tanguila portador de la cédula de ciudadanía N° **1501178402**. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Valoración de respuesta inflamatoria subclínica en caballos mediante monitoreo de la proteína amiloide A sérica post-ejercicio”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, **01 de septiembre del 2026**



Victor Eliecer Toapanta Tanguila

C.I. 1501178402